

JP03/13563 10/532400

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP03/13563

22 APR 2005

25.11.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2002年10月24日

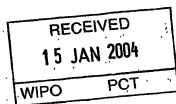
出 願 番 号
Application Number: 特願2002-309519

[ST. 10/C]:

[JP2002-309519]

出 願 人
Applicant(s):

独立行政法人産業技術総合研究所
科学技術振興事業団



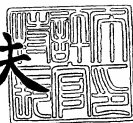
PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



2003年12月25日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



BEST AVAILABLE COPY

出証番号 出証特2003-3107077

【書類名】 特許願

【整理番号】 02JST99

【提出日】 平成14年10月24日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G10L 11/00

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 後藤 真孝

【特許出願人】

【識別番号】 301021533

【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所

【代表者】 吉川 弘之

【特許出願人】

【識別番号】 396020800

【氏名又は名称】 科学技術振興事業団

【代表者】 沖村 憲樹

【代理人】

【識別番号】 100089635

【弁理士】

【氏名又は名称】 清水 守

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012128

【納付金額】 10,500円

【その他】 国等以外のすべての者の持分の割合 050/100

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0013088

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 音楽音響信号中のサビ区間検出方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ある楽曲の入力音響信号に対して、その楽曲中で繰り返されるサビ区間を検出する音楽音響信号中のサビ区間検出方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の音楽音響信号中のサビ区間検出方法において、楽曲中に出現する前記サビ区間の一覧を求めることを特徴とする音楽音響信号中のサビ区間検出方法。

【請求項 3】 請求項 1 記載の音楽音響信号中のサビ区間検出方法において、楽曲全体の中での様々な区間の繰り返し構造の一覧を求めることを特徴とする音楽音響信号中のサビ区間検出方法。

【請求項 4】 請求項 1、2 又は 3 記載の音楽音響信号中のサビ区間検出方法において、

- (a) 音響信号を入力し、
- (b) 音響特徴量の抽出を行い、
- (c) 前記音響特徴量間の類似度の計算を行い、
- (d) 繰り返し区間のリストアップを行い、
- (e) 前記繰り返し区間の統合を行い、
- (f) 転調を伴う繰り返し区間の検出を行って、それらの転調を伴う繰り返し区間と前記繰り返し区間との統合を行い、
- (g) 統合した前記繰り返し区間の中から、サビ区間として適切なものを選択することを特徴とする音楽音響信号中のサビ区間検出方法。

【請求項 5】 請求項 4 記載の音楽音響信号中のサビ区間検出方法において、前記音響特徴量が 1 2 次元クロマベクトルであり、前記類似度がクロマベクトルの次元間で値をシフトさせることで転調を扱える類似度であることを特徴とする音楽音響信号中のサビ区間検出方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、市販のCD (compact disc) などに収録されている、歌曲や複数種類の楽器音を同時に含む音楽音響信号を対象に、サビの区間を検出する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来のサビ検出方法の研究では、楽曲の音響信号の代表的部分として、サビを指定した長さだけ不完全に一箇所切り出す方法が提案されていた。Loganら〔非特許文献1〕は、短い断片（1秒間）にその特徴量に基づいてラベルを付与し、最頻出のラベルをもつ区間をサビとみなす方法を提案した。このラベルの付与には、特徴量間の類似度に基づくクラスタリングや隠れマルコフモデルを用いていた。また、Bartschら〔非特許文献2〕は、ビートトラッキングの結果に基づいて楽曲を拍ごとの断片に分割し、それらの特徴量間の類似度が、指定した一定の長さの区間に渡って最も高い箇所を、サビとして切り出す方法を提案した。また、Foot〔非特許文献3〕は非常に短い断片（フレーム）ごとの特徴量間の類似度に基づく境界検出の応用例として、サビが切り出せる可能性を指摘していた。

【0003】

しかし、上記したようないずれの従来の研究も、楽曲中に何度も出現するサビのどこか一箇所だけを検出する問題設定をしていた。また、常に指定した一定の長さを切り出して提示するだけで、サビの区間がどこからどこまでかは推定していなかった。また、サビが繰り返されるときに転調することがあるが、いずれの研究も転調を考慮しておらず、転調後のサビは断片間の類似度が低くなるため、サビとして検出することができなかった。

【0004】

一方、標準MIDIファイル等の音符相当表現を対象とした研究事例〔非特許文献4および5〕もあるが、本発明が対象とするような音源分離が困難な実世界の混合音には適用できなかった。

【0005】

【非特許文献1】

Logan, B. and Chu, S. : Music Summarization Using Key Phrases, Proc. of ICASSP 2000, II-749-752 (2000).

【非特許文献2】

Bartsch, M. A. and Wakefield, G. H. : To Catch A Chorus: Using Chroma-based Representations for Audio Thumbnailing, Proc. of WASPAA 2001, 15-18 (2001).

【非特許文献3】

Foote, J. : Automatic Audio Segmentation Using A Measure of Audio Novelty, Proc. of ICME 2000, I-452-455 (2000).

【非特許文献4】

Meek, C. and Birmingham, W. P. : Thematic Extractor, Proc. of ISMIR 2001, 119-128 (2001).

【非特許文献5】

村松純: 歌謡曲における「さび」の楽譜情報に基づく特徴抽出—小室哲哉の場合—, 情処研報 音楽情報科学, 2000-MUS-35-1, 1-6 (2000).

【非特許文献6】

大津展之: 判別および最小2乗規準に基づく自動しきい値選定法, 信学論 (D), J63-D, 4, 349-356 (1980).

【非特許文献7】

Shepard, R. N. : Circularity in Judgments of Relative Pitch, J. Acoust. Soc. Am., 36, 12, 2346-2353 (1964).

【非特許文献8】

Wakefield, G. H. : Mathematical Representation

ntation of Joint Time-Chroma Distrib
utions, SPIE 1999, 637-645 (1999).

【非特許文献9】

Savitzky, A. and Golay, M. J. : Smoothing
and Differentiation of Data by Simp
lified Least Squares Procedures, Anal
ytical Chemistry, 36, 8, 1627-1639 (1964
).

【非特許文献10】

後藤真孝, 橋口博樹, 西村拓一, 岡隆一: RWC研究用音楽データベース; ポ
ピュラー音楽データベースと著作権切れ音楽データベース, 情報研報 音楽情報
科学, 2001-MUS-42-6, 35-42 (2001).

【非特許文献11】

van Rijsbergen, C. J. : Information Ret
rieval, Butterworths, second edition (1
979).

【非特許文献12】

平田圭二, 松田周: パビブーン: GTTMに基づく音楽要約システム, 情報
研報 音楽情報科学, 2002-MUS-46-5, 29-36 (2002).

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

本発明では、サビ(chorus, refrain)の区間を検出する処理を
実現する。サビは、楽曲全体の構造の中で、一番代表的な盛り上がる主題の部分
である。

【0007】

通常、サビは楽曲中で最も多く繰り返され、印象に残るため、専門的な音楽の
訓練を受けていない人が音楽を聴いた時でも、どこがサビであるかを容易に判断
できる。さらに、サビ検出の結果は、様々な応用において有用である。例えば、

多数の楽曲をブラウジングするときや、楽曲検索システムにおいて検索結果を提示するときに、サビの冒頭を短く再生（プレビュー）できると便利である（画像のサムネールの音楽版とみなせる）。また、歌声等を検索キーとした楽曲検索では、検索対象をサビ区間に限定すると精度と効率が上がるが、サビ検出処理により、その区間を自動的にインデキシングすることも可能になる。

【0008】

本発明は、従来の技術の問題点を克服し、楽曲中に出現するサビの区間を網羅的に検出することができる音楽音響信号中のサビ区間検出方法（Refrain Detecting Method）を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するために、

〔1〕音楽音響信号中のサビ区間検出方法であって、ある楽曲の入力音響信号に対して、その楽曲中で繰り返されるサビ区間を検出するようにしたものである。

【0010】

〔2〕上記〔1〕記載の音楽音響信号中のサビ区間検出方法において、楽曲中に出現する前記サビ区間の一覧を求めることを特徴とする。

【0011】

〔3〕上記〔1〕記載の音楽音響信号中のサビ区間検出方法において、楽曲全体の中での様々な区間の繰り返し構造の一覧を求めることを特徴とする。

【0012】

〔4〕上記〔1〕、〔2〕又は〔3〕記載の音楽音響信号中のサビ区間検出方法において、音響信号を入力し、音響特徴量の抽出を行い、前記音響特徴量間の類似度の計算を行い、繰り返し区間のリストアップを行い、前記繰り返し区間の統合を行い、転調を伴う繰り返し区間の検出を行って、それらの転調を伴う繰り返し区間と前記繰り返し区間との統合を行い、統合した前記繰り返し区間の中から、サビ区間として適切なものを選択することを特徴とする。

【0013】

〔5〕上記〔4〕記載の音楽音響信号中のサビ区間検出方法において、前記音響特徴量が12次元クロマベクトルであり、前記類似度がクロマベクトルの次元間で値をシフトさせることで転調を扱える類似度であることを特徴とする。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0015】

まず、サビ区間検出問題について説明する。

【0016】

(1) 問題設定

本発明では、楽曲一曲分の音響信号に対し、そこに出現するすべてのサビ区間の開始点と終了点を求める問題を解くことを目的とする。サビは、コーラス (chorus) あるいはリフレイン (refrain) と呼ばれ、楽曲構造上、主題 (theme) を提示している部分を指す。サビは、ときには伴奏の変化やメロディーの変形を伴いながら、通常楽曲中で最も多く繰り返される。例えば、典型的なポピュラー音楽の楽曲構造は、

{イントロ、サビ}

($(\rightarrow A \text{メロ} [\rightarrow B \text{メロ}]) \times n_1 \rightarrow \text{サビ}) \times n_2$

[\rightarrow 間奏] [$\rightarrow A \text{メロ}$] [$\rightarrow B \text{メロ}$] $\rightarrow \text{サビ} \times n_3$

[\rightarrow 間奏 $\rightarrow \text{サビ} \times n_4$] [\rightarrow エンディング]

のようになっており、サビは他の部分よりも繰り返し回数が多くなっている。ここで、 $\{a, b\}$ は a か b かのいずれか一方、 $[a]$ は a が省略可能であることを表す記号とし、 n_1, n_2, n_3, n_4 は繰り返し回数を表す整数である (多くの場合、 $1 \leq n_1 \leq 2, 1 \leq n_2 \leq 4, n_3 \geq 0, n_4 \geq 0$)。イントロ (introduction) は前奏部分、 $A \text{メロ}$ 、 $B \text{メロ}$ (verse A, verse B) は序奏部分を指す。

【0017】

(2) 実現上の課題

楽曲中で最も多く繰り返されるサビの区間を検出するには、基本的には、ある区間の繰り返しを見つけ出し、最も出現頻度の大きい区間を出力すればよい。しかし、「繰り返し」とは言っても音響信号が完全に一致する状態で繰り返される場合はまれで、人間にとっては容易に繰り返しと分かる場合でも、計算機にとっては判断が難しい。その際の主要な課題は、以下のようにまとめられる。

【0018】

課題①：特徴量と類似度の検討

ある区間とその繰り返し区間の音響信号とが完全一致しない場合に、繰り返されているということを、各区間から求めた特徴量間の類似度に基づいて判断しなければならない。その際、繰り返しがあると判断するためには繰り返す度に細部が多少異なっても（メロディーが変形したり、伴奏のペース、ドラム等が演奏されなくなったりしても）特徴量間の類似度は高い必要がある。しかし、パワースペクトルを直接特徴量とすると、こうした要件を満たすのは困難となる。

【0019】

課題②：繰り返しの判断基準

類似度がどれくらい高ければ繰り返しとみなせるかという基準は、楽曲に依存して変わる。例えば、似た伴奏が多用される楽曲では、全体的に多くの部分の類似度が高くなるため、かなり高い類似度でなければサビに関連する繰り返しとは判断しない方がよい。逆に、サビが繰り返される時に伴奏が大きく変化するような楽曲では、類似度がやや低くても繰り返しと判断する方がよい。こうした基準を、ある楽曲に特化して人間が手作業で設定するのは容易だが、幅広い楽曲に適用可能な方法とするためには、その基準を現在処理中の楽曲に基づいて自動的に変える必要がある。また、このことから、サビ区間検出方法の性能を評価するのに、数曲のサンプル曲が扱えたからといって、必ずしもその方法に汎用性があるとは限らないと言える。

【0020】

課題③：繰り返し区間の端点（開始点と終了点）の推定

サビの区間の長さ（区間長）は楽曲ごとに異なるため、各区間長と共に、どこからどこまでがサビであるかを推定しなければならない。その際、サビの前後の

区間も一緒に繰り返すことがあるため、端点の推定は、楽曲中の様々な箇所の情報を統合して行う必要がある。例えば、(A B C B C C) のような構造の楽曲の場合(A, B, CはそれぞれAメロ、Bメロ、サビの区間とする)、単純に繰り返し区間を探すと、(B C) が一つのまとまった区間として見つかる。この場合、最後のCの繰り返し情報に基づいて、(B C) の内のCの区間の端点を推定する、といった処理が求められる。

【0021】

課題④：転調を伴う繰り返しの検出

転調後の区間は、一般に特徴量が大きく変わるために転調前の区間との類似度が低くなり、繰り返しと判断するのが困難となる。特に、転調は曲の後半のサビの繰り返して起きることが多く、そうした繰り返しを的確に判断することは、サビの検出において重要な課題である。

【0022】

次に、本発明によるサビ区間検出方法(Refraid)について説明する。

【0023】

本発明では、以上の課題を解決しつつ、基本的に楽曲中で多く繰り返される区間をサビとして検出する。入力としては、音楽のモノラルの音響信号を対象とし、混合音中の楽器の数や種類には特に制限を設けない。ステレオ信号は、左右を混合してモノラル信号に変換するものとする。また、以下を仮定する。

【0024】

仮定①

演奏のテンポは一定でなく変化してもよいが、サビの区間は、毎回ほぼ類似したテンポで、一定の長さの区間として繰り返して演奏される。その区間は長い方が望ましいが、区間長には、許容される適切な範囲(現在の実装では、7.7~40sec)がある。

【0025】

仮定②

前述した楽曲構造の例の、

$(\rightarrow A \text{メロ} [\rightarrow B \text{メロ}]) \times n_1 \rightarrow \text{サビ}) \times n_2$

に相当するような、長い繰り返しがある場合、その末尾の部分がサビである可能性が高い。

【0026】

仮定③

サビ区間内では、その区間の半分程度の短い区間が繰り返されることが多いため、ある繰り返し区間内にさらにそうした繰り返しがある場合には、その区間がサビである可能性が高い。

【0027】

以上は、多くのポピュラー音楽に当てはまる妥当な仮定である。

【0028】

図1は本発明のサビ区間検出方法 (RefrainD) の処理フローチャートである。

【0029】

(1) まず、音響信号を得る (ステップS1)。

【0030】

(2) その入力音響信号の各フレームから、細部の変形の影響を受け難い12次元の特徴量 (12音名各々の周波数のパワーを複数のオクターブに渡って加算した12次元クロマベクトル) を抽出する (ステップS2)。

【0031】

(3) その抽出された12次元マクロベクトルの特徴量と過去の全フレームの特徴量との間の類似度を計算する (課題①に対応) (ステップS3-1)。次に、判別基準に基づく自動閾値選定法 [非特許文献6] によって、繰り返しの判断基準を楽曲ごとに自動的に変えながら、繰り返し区間のペアをリストアップする (課題②に対応) (ステップS3-2)。そして、それらのペアを楽曲全体に渡って統合することで、繰り返し区間のグループを作り、それぞれの端点も適切に求める (課題③に対応) (ステップS3-3)。

【0032】

(4) ここで、転調を考慮に入れた場合、クロマベクトルの各次元は音名に対応しているため、その転調幅に応じて次元間で値をシフトさせた転調後のクロマ

ベクトルと、転調前のクロマベクトルとは値が近くなる。そこで、そのように12種類の転調先を考慮して、転調前後のクロマベクトルの類似度を計算する。それを出発点として、上記の繰り返し区間の検出処理も12種類分行い、それら全ての繰り返し区間を統合する(課題④に対応)(ステップS4)。

【0033】

(5) 最終的に、得られた各区間のサビらしさを上記の仮定に基づいて評価する(ステップS5)。

【0034】

(6) 最もサビらしい区間の一覧を出力する(ステップS6)。

【0035】

(7) 同時に、中間結果として得られた繰り返し構造も出力する(ステップS7)。

【0036】

次に、特徴量の抽出(ステップS2)について詳細に説明する。

【0037】

非常に短い断片(フレーム)における音響信号の特徴量として、クロマベクトル(chroma vector)を求める。クロマベクトルは、非特許文献(7)に開示されているクロマ(音名, chroma)を周波数軸としてパワーの分布を表現した特徴量である(クロマベクトルは、非特許文献8のchroma spectrumのクロマの軸を12個の音名に離散化したものに近い)。非特許文献7によれば、音楽的な音高の知覚は上に昇る螺旋状の構造を持ち、螺旋を真上から見た円周上のクロマと、横から見たときの縦方向のハイト(オクターブ位置, height)の二つの次元で表現することができる。クロマベクトルでは、パワースペクトルの周波数軸がこの螺旋状の構造に沿っていると見なし、ハイト軸方向をつぶして円にすることで、周波数スペクトルを円周上(1周1オクターブ)のクロマの軸だけで表現する。つまり、異なるオクターブの同じ音名の位置のパワーを加算して、クロマ軸上のその音名の位置のパワーとする。

【0038】

本発明では、このクロマベクトルを12次元で表し、ベクトルの各次元の値が

平均律の異なる音名のパワーを表すものとする。時刻 t の入力音響信号に対する短時間フーリエ変換 (STFT) を計算した後に、周波数軸を対数スケールの周波数 f に変換して、パワースペクトル $\Psi_p(f, t)$ を求める。対数スケールの周波数は $cent$ の単位で表し、 Hz で表された周波数 f_{Hz} を、次のように $cent$ で表された周波数 f_{cent} に変換する。

【0039】

$$f_{cent} = 1200 \log_2 [f_{Hz} / (440 \times 2^{3/12-5})] \quad \dots (1)$$

平均律の半音は $100cent$ に、1オクターブは $1200cent$ に相当するため、音名 c (c は $1 \leq c \leq 12$ の整数で、クロマに対応)、オクターブ位置 h (ハイトに対応) の周波数 $F_{c,hcent}$ は、

$$F_{c,h} = 1200h + 100(c-1) \quad \dots (2)$$

と表せる。

この対数スケール軸のパワースペクトル $\Psi_p(f, t)$ から、音名 c の位置のパワーを Oct_L から Oct_H (現在の実装では、3から8) のオクターブ範囲で加算して、12次元クロマベクトル $\vec{v}_c(t)$ の各次元 $v_c(t)$

$$v_c(t) = \sum_{h=Oct_L}^{Oct_H} \int_{-\infty}^{\infty} BPF_{c,h}(f) \Psi_p(f, t) df \quad \dots (3)$$

を求める。ここで、 $BPF_{c,h}(f)$ は、音名 c 、オクターブ位置 h の位置のパワーを通過させるバンドパスフィルタで、

【0040】

【数1】

$$BPF_{c,h}(f) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi(f - (F_{c,h} - 100))}{200} \right) \quad \dots (4)$$

のように、ハニング窓の形状で定義する。

【0041】

こうして得られたクロマベクトルを特徴量とすることで、繰り返す度にメロディーや伴奏が多少変わっても、全体の響き (同時に鳴っている音名の構成) が類似していれば、繰り返し区間として検出できる。さらに、後述するように、類似

度の工夫によって転調された繰り返しの検出も可能となる。

【0042】

現在の実装では、音響信号を標準化周波数16kHz、量子化ビット数16bitでA/D変換し、窓関数 $h(t)$ として窓幅4096点のハニング窓を用いたSTFTを、高速フーリエ変換(FFT)によって計算する。FFTのフレームは1280点ずつシフトし、すべての処理の時間単位(1フレームシフト)を80msとする。

【0043】

次に、クロマベクトル間の類似度の計算(ステップS3-1)について説明する。

時刻 t のクロマベクトル $\vec{v}(t)$ とそれよりラグ(lag) l ($0 \leq l < t$)だけ過去の $\vec{v}(t-l)$ との類似度 $r(t, l)$ を、

$$r(t, l) = 1 - \frac{\left| \frac{\vec{v}(t)}{\max_{\vec{v}(t)} \|\vec{v}(t)\|} - \frac{\vec{v}(t-l)}{\max_{\vec{v}(t-l)} \|\vec{v}(t-l)\|} \right|}{\sqrt{12}} \quad \dots (5)$$

と定義する。分母の $\sqrt{12}$ は、1辺の長さが1の12次元超立方体の対角線の長さであり、 $\frac{\vec{v}(t)}{\max_{\vec{v}(t)} \|\vec{v}(t)\|}$ は、常にその超立方体の原点を含まない面上に位置するため、 $0 \leq r(t, l) \leq 1$ となる。

【0044】

次に、繰り返し区間のリストアップ(ステップS3-2)について説明する。

【0045】

図2は、ある楽曲に対する類似線分、類似度 $r(t, l)$ 、パラメータ空間 $R_{all}(t, l)$ の概念図である。この図において、 $r(t, l)$ は右下半分の三角形内で定義される。実際に得られる $r(t, l)$ はノイズを多く含み、サビに関連しない類似線分も存在して曖昧なことが多い。

【0046】

ここでは、類似度 $r(t, l)$ に基づいて、どの区間が繰り返されているかを調べる。図2に示すように、類似度 $r(t, l)$ を、横軸が時間軸 t 、縦軸がラグ軸 l の $t-l$ 平面に描画すると、繰り返されている区間に対応して、時間軸に

平行な線分(類似度が連続して高い領域)が現れる。そこで、時刻 $T1$ から $T2$ の区間(以下、 $[T1, T2]$ と表記する)に渡ってラグ軸 $L1$ の位置に高い類似度を持つ線分を類似線分と呼び、 $[t = [T1, T2], l = L1]$ で表す。これは、 $[T1, T2]$ と $[T1-L1, T2-L1]$ が繰り返し区間であることを意味する。よって、 $r(t, l)$ 中の類似線分をすべて検出すれば、繰り返し区間の一覧が得られる。

【0047】

この線分検出には、画像処理においてロバストな直線検出方法として多用されるハフ(Hough)変換を用いる。ハフ変換では、 $t-l$ 平面における求めたい直線をパラメータ a, b を用いて $l = at + b$ で表すとき、画素 (T, L) ごとにパラメータ空間に $b = L - aT$ の軌跡を描く(画素の輝度を累積する)。そして、多くの軌跡が交わる点(累積値の大きい点)のパラメータを持つ直線が、画像中に存在するものとみなす。類似線分の検出の場合には、時間軸に平行な線分だけを求めればよいので上記の直線の傾きは常に0となり、パラメータ空間は1次元と単純化される。

【0048】

具体的には、時刻 t におけるパラメータ空間 $R_{all}(t, l)$ は、

【0049】

【数2】

$$R_{all}(t, l) = \int_1^t \frac{r(\tau, l)}{t - 1} d\tau \quad \dots (6)$$

となり、 $R_{all}(t, l)$ が大きい値を持つ l の位置に類似線分が存在する可能性が高いと考える(図2)。

【0050】

なお、広帯域ノイズ等に起因する各成分がほぼ等しいクロマベクトルからは、他のクロマベクトルへの距離が比較的近くなってしまう傾向があり、 $r(t, l)$ 中に類似度の高い直線(以下、ノイズ直線と呼ぶ)として現れることがある。このノイズ直線は、 $t-l$ 平面において、時間軸に垂直(上下)方向、あるいは、斜め右上・左下方向に現れる。そこで、前処理として式(6)の計算前にノイ

ズ直線の抑制を行う。まず、各 $r(t, l)$ において、右、左、上、下、右上、左下の 6 方向の近傍区間の平均値を計算し、その最大と最小を求める。そして、右か左の方向が最大のときは、類似線分の一部とみなして、強調するために $r(t, l)$ から最小を引く。その他の方向が最大のときは、ノイズ直線の一部とみなして、抑制するために $r(t, l)$ から最大を引く。

【0051】

上記のように、 $R_{all}(t, l)$ を求めた後の類似線分の検出は、以下の手順で行う。

(1) 線分候補ピークの検出

$R_{all}(t, l)$ 中の十分に高いピークを、線分候補ピークとして検出する。まず、 $R_{all}(t, l)$ の lag 軸方向のピークを、2 次多項式適合による平滑化微分を用いたピーク検出〔非特許文献 9〕により求める。具体的には、 $R_{all}(t, l)$ の平滑化微分

【0052】

【数 3】

$$\sum_{w=-KSize}^{KSize} w R_{all}(t, l+w) \quad \dots (7)$$

が正から負に変わる箇所をピークとする ($KSize = 0.32 \text{ sec}$)。ただし、このピーク検出の前に、 $R_{all}(t, l)$ の lag 軸方向に、2 階のカーディナル B-スプライン関数を重み関数とする移動平均によってスムージングをかけたものを引いて、 $r(t, l)$ のノイズ成分等の蓄積による大局的な変動を取り除いておく [$R_{all}(t, l)$ にハイパスフィルタをかけることに相当する]。

【0053】

次に、こうして得られたピークの集合から、ある閾値より大きいピークのみを、線分候補ピークとして選ぶ。前述の課題②で述べたように、この閾値は楽曲ごとに適切な値が異なるため、楽曲に基づいて自動的に変える必要がある。そこで、 $R_{all}(t, l)$ のピーク値を閾値によって二つのクラスに分けるとときに、ク

ラス分離度を最大とする判別基準に基づく自動閾値選定法〔非特許文献6〕を用いる。ここでは、クラス分離度としてクラス間分散

$$\sigma^2_B = \omega_1 \omega_2 (\mu_1 - \mu_2)^2 \quad \dots (8)$$

を最大とする閾値を求める。ただし、 ω_1 、 ω_2 は、閾値によって分けられた各クラスの生起確率（各クラスのピーク個数／全体のピーク個数）、 μ_1 、 μ_2 は、各クラスのピーク値の平均である。

(2) 類似線分の探索

各線分候補ピークのlag軸上の位置lにおいて、類似度 $r(t, l)$ の時間軸方向を一次元関数とみなして、それが連続して十分高い区間を探索し、類似線分とする。

【0054】

まず、 $r(t, l)$ の時間軸方向に、2階のカーディナルBースプライン関数を重み関数とする移動平均によってスムージングをかけた $r_{\text{smooth}}(t, l)$ を求める。次に、 $r_{\text{smooth}}(t, l)$ 中で、ある閾値を連続して越えているすべての区間のうち、一定の長さ（6.4sec）以上のものを類似線分として求める。この閾値も、上記の判別基準に基づく自動閾値選定法により定める。ただし、今度はピーク値を扱うのではなく、ピーク値が高い上位5個の線分候補ピークを選び、それらのlの位置の $r_{\text{smooth}}(\tau, l)$ （ $1 \leq \tau \leq t$ ）がとる値を二つのクラスに分ける。

【0055】

次に、繰り返し区間の統合（ステップS3-3）について説明する。

【0056】

各類似線分は、ある区間が二回繰り返されていることだけを表すため、例えばAとA'のペア、A'とA''のペアが、それぞれ繰り返し区間として検出されたときには、それらを一つの繰り返し区間のグループとして統合する必要がある。ここで、ある区間がn回（ $n \geq 3$ ）繰り返されている場合にはもれなく検出されるとすると、 $n(n-1)/2$ 本の類似線分が検出される。そこで、同じ区間の繰り返しを表す類似線分をグルーピングし、繰り返し区間を統合する。さらに、もれていた類似線分の検出や、得られた類似線分が適切であるかの検証を行う。

【0057】

この統合処理は、以下の手順で実現する。

(1) 類似線分のグルーピング

ほぼ同じ区間の類似線分を、一つのグループにまとめる。各グループ $\phi_i = [Ts_i, Te_i], T_i]$ は、区間 $[Ts_i, Te_i]$ と、類似線分（区間が決まれば、線分候補ピークと対応する）の lag 値 v_{ij} の集合 $T_i = \{v_{ij} | j = 1, 2, \dots, M_i\}$ (M_i はピークの個数) で表される。そして、この類似線分のグループ ϕ_i の集合を、 $\Phi = \{\phi_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ (N はグループの個数) とする。

(2) 線分候補ピークの再検出

グループ ϕ_i ごとに、区間 $[Ts_i, Te_i]$ 内の類似度 $r(t, 1)$ に基づいて、類似線分を改めて求めなおす。これにより、もれていた類似線分の検出ができ、例えば、図2で、ABCCの繰り返しに相当する長い類似線分上で、Cの繰り返しに相当する類似線分2か所が得られていなくても、この処理で検出されることが期待できる。

まず、 $[Ts_i, Te_i]$ 内に限定して、

ハフ変換のパラメータ空間 $R_{[Ts_i, Te_i]}(1)$ ($0 \leq l \leq Ts_i$)

$$R_{[Ts_i, Te_i]}(1) = \int_{Ts_i}^{Te_i} \frac{r(r, 1)}{Te_i - Ts_i} dr \quad \dots (9)$$

を作成する。次に、前述の線分候補ピークの検出と同様に、平滑化微分を用いたピーク検出を行い ($KSize = 2.8sec$)、自動閾値選定法で定めた閾値を越えた線分候補ピークの lag 値 v_{ij} の集合を、改めて T_i とする。

自動閾値選定法では、 Φ の全グループの区間における $R_{[Ts_i, Te_i]}(1)$ のピーク値を、二つのクラスに分けるようにする。

【0058】

(3) 類似線分の適切さの検証①

サビと無関係な類似線分からなるグループ ϕ_i 、あるいは、 T_i の中で無関係な線分と考えられるピークを削除する。

似た伴奏の繰り返しが多用される楽曲等の場合、サビと関係ない線分候補ピークが、 $R[T_{si}, T_{ei}](1)$ に等間隔に多く現れる傾向がある。

そこで、 $R[T_{si}, T_{ei}](1)$ に対して平滑化微分を用いたピーク検出を行い、一定間隔（間隔は任意）で連続して並ぶ高いピークの個数が10個より多いときサビと無関係な類似線分からなるグループだと判断し、そのグループを Φ から削除する。

【0059】

また、一定間隔で連続して並ぶ低いピークの個数が5個より多いとき、サビと無関係な線分候補ピークだと判断し、その一連のピークを T_i から削除する。

(4) 類似線分の適切さの検証②

T_i の中には、区間 $[T_{si}, T_{ei}]$ の一部分だけ類似度が高いピークが含まれることがあるため、そうした類似度の変動の大きいピークを削除する。そこで、当該区間の $r_{smooth}(\tau, 1)$ の標準偏差を求め、ある閾値より大きいものは T_i から削除する。この閾値は、 ϕ_i の中で、上記で求めた類似線分に対応する線分候補ピークは信頼できると考え、それらのピークでの上記標準偏差の最大値を定数倍（1.4倍）して定める。

(5) 類似線分の間隔の考慮

繰り返し区間が重ならないようにするために、lag軸上で隣接する類似線分（線分候補ピーク）の間隔を、線分の長さ $T_{ei} - T_{si}$ 以上とする必要がある。そこで、線分の長さより狭い間隔を持つ二つのピークのいずれかを、全体として高いピーク集合が残るように削除し、すべての間隔が類似線分の長さ以上になるようにする。

(6) 共通区間を持つグループを統合

T_i の各ピークについて、そのlag値 ν_{ij} だけの過去の区間 $[T_{si} - \nu_{ij}, T_{ei} - \nu_{ij}]$ のグループがあるかを探索し、発見したら統合する。統合処理では、発見したグループのすべてのピークを、対応するlag値の場所に持つように、 T_i に線分候補ピークを追加する。発見したグループ自体は削除する。

【0060】

さらに、区間 $[T_{si} - \nu_{ij}, T_{ei} - \nu_{ij}]$ に一致する線分候補ピークを持

つグループ Γ_k (グループの区間自体は異なる)があるかも探索し、発見したら統合するか判断する。この場合、 Γ_k の過半数のピークが Γ_i に含まれていれば、上記同様の統合処理を行う。含まれていなければ、 Γ_i と Γ_k で同じ区間を指しているピークを比較し、低い方を削除する。上記で実際に統合がなされたら、後処理として(5)の処理を再び行う。

【0061】

次に、転調を伴う繰り返しの検出(ステップS4)について説明する。

【0062】

以上述べてきた処理は転調を考慮していなかったが、これは以下のように転調を扱える処理へと容易に拡張できる。ここで、転調は平均律の半音 t_r 個分上の調へ変わることによって表すことにし、 t_r は0, 1, ..., 11の12種類の値を取るものとする。 $t_r=0$ は転調しないことを意味し、 $t_r=10$ は半音10個分上か、全音分下へ転調することを意味する。

12次元クロマベクトル $\vec{v}(t)$ は、各次元 $v_i(t)$ の値を次元間で t_r 個分だけシフトさせることで、転調を表現できる特長を持つ。具体的には、ある演奏のクロマベクトルを $\vec{v}(t)$ とし、それを t_r 個上へ転調した演奏のクロマベクトルを $\vec{v}(t)'$ とすると、

$$\vec{v}(t) \approx S^{t_r} \vec{v}(t) \quad \dots (10)$$

となる。

【0063】

ただし、 S はシフト行列で、以下のように12次正方行列を一つ右にシフトした行列として定義される。

【0064】

【数4】

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad \dots (11)$$

【0065】

転調を伴う繰り返しの検出の処理手順を以下に述べる。まず、クロマベクトルのこの特長を利用し、 t_r ごとの12種類の類似度 $r_{tr}(t, 1)$ を、

【0066】

【数5】

$$r_{tr}(t, 1) = 1 - \frac{\left| \frac{S^{tr} \vec{v}(t)}{\max_e v_e(t)} - \frac{\vec{v}(t-1)}{\max_e v_e(t-1)} \right|}{\sqrt{12}} \quad \dots (12)$$

と定義しなおす。次に、それぞれの類似度 $r_{tr}(t, 1)$ に対して、前述した繰り返し区間のリストアップをする。ただし、自動閾値選定法は $t_r = 0$ のときだけ適用し、他の t_r では、 $t_r = 0$ で定めた閾値を用いる。これにより、転調のない曲で、 $t_r = 0$ 以外のときに類似線分が誤検出されにくくなる。そして、こうして得られた各 t_r ごとの類似度と類似線分に対して、前述の統合処理を行う。その結果、 t_r ごとに別々の類似線分のグループ $\phi_{tr,i}$ の集合 Φ_{tr} が得られる。そこで前述した、共通区間を持つグループの統合の処理を、 t_r 間にまたがって行う（異なる t_r に対して共通区間を持つグループを探索する）ことで、転調を含む繰り返し区間を一つのグループとして統合する。ただし、前出の処理では「 T_k の過半数のピークが T_i に含まれていれば、上記同様の統合処理を行う」とあるが、ここでは常に統合処理を行う。

【0067】

以下、異なる t_r から得られたグループも合わせて、 $\Phi = \{\phi_i\}$ で表す。転調区間が後から分かるように、どの t_r から統合されたかという情報は保存しておく。

【0068】

次に、本発明のサビ区間の選択方法について説明する。

【0069】

類似線分のグループの集合 Φ の中から、ある一つのグループをサビ区間として選ぶ。そのために、各グループ ϕ_i のサビらしさ v_i を、類似線分の平均類似度

や上記した仮定に基づいて評価し、最も v_i の高いグループをサビ区間であると判定する。その準備として、グループごとに、類似線分（線分候補ピーク v_{ij} ）をそれが指す二つの区間へ展開し、すべての繰り返し区間 $[P s_{ij}, P e_{ij}]$ とその信頼度 λ_{ij} のペアの集合、

$$\Delta_i = \{ [P s_{ij}, P e_{ij}], \lambda_{ij} \mid j=1, 2, \dots, M_i + 1 \} \quad \dots (13)$$

を求める。ここで、 $[P s_{ij}, P e_{ij}] = [T s_i - v_{ij}, T e_i - v_{ij}]$ とし、信頼度 λ_{ij} は、対応する類似線分における類似度 $\tau_{tr}(t, 1)$ の平均とする。ただし、 $j = M_i + 1$ のときは、

$$[P s_{ij}, P e_{ij}] = [T s_i, T e_i], \lambda_{ij} = \max_{k=1}^{M_i} \lambda_{ik} \text{ とする。}$$

【0070】

サビらしさ v_i は、以下の手順で評価する。

(1) 仮定②を満たす区間の信頼度を増加

仮定②で述べたAメモ～サビに相当するような十分に長い区間（50sec以上）を持つグループ ϕ_h に関して、その各区間の終了点 $P e_{hk}$ とほぼ等しい終了点 $P e_{ij}$ を持つ区間が他のグループにあるか探索する。発見されれば、発見された区間がサビである可能性が高いと考え、その信頼度 λ_{ij} を2倍する。

(2) 仮定③を満たす区間の信頼度を増加

サビとして適切な区間長の範囲（仮定①）の区間 $[P s_{ij}, P e_{ij}]$ に関して、その区間の半分程度の短い区間が前半と後半に一つずつ存在するか調べる。存在する場合には、それら二つの区間の信頼度の平均の半分の、元の区間の信頼度 λ_{ij} に加える。

(3) サビらしさを算出

上記で得られた信頼度に基づき、サビらしさを、

【0071】

【数6】

$$v_i = \left(\sum_{j=1}^{M_i+1} \lambda_{ij} \right) \log \frac{T e_i - T s_i}{D_{i..n}} \quad \dots (14)$$

と定義する。 Σ の項は、グループ ϕ_i の区間の数が多いほど、また、それらの信頼度が高いほど、サビらしさが高いことを意味する。 \log の項は、そのグループの区間が長いほど、サビらしさが高いことを意味する。定数 D_{len} は予備実験の結果から1.4secとした。

【0072】

最終的に、サビとして適切な区間長の範囲（仮定①）を持つグループの中で、

$$m = \arg \max_i \quad \dots (15)$$

によって決まる集合 Λ_m 中の区間 $[P_{smj}, P_{emj}]$ を、サビ区間とする。ここで後処理として、隣接する P_{smj} の最小間隔を求め、区間長が最小間隔となるように P_{emj} を移動して各区間を広げ、隙間を埋める。これは、本来はサビ区間が連続して隙間がないにも関わらず、得られた繰り返し区間では隙間が空いてしまうことがあるからである。ただし、埋める隙間が大きすぎるとき（12sec以上で区間長の半分より広いとき）は埋めない。

【0073】

次に、本発明の音楽音響信号中のサビ区間検出システムの実装と実験結果について説明する。

【0074】

音楽音響信号を入力し、検出したサビ区間の一覧をリアルタイムに出力するシステムを、本発明の方法 $Refraid$ に基づいて構築した。このシステムは、刻一刻と、過去の音響信号中でサビだと考えられる区間の一覧を求め、中間結果として得られた繰り返し構造（繰り返し区間の一覧 Λ_i ）と共に出力し続ける。この出力を視覚化した例を図3に示す。図3において、横軸は時間軸（sec）で楽曲全体を表示しており、上半分がパワー変化、下半分の最上段がサビ区間の一覧（最後のサビは転調を伴う）、下5段が繰り返し構造を表す。

【0075】

評価実験として、「RWC研究用音楽データベース：ポピュラー音楽」〔非特許文献10〕の100曲（RWC-MDB-P-2001, No. 1~100）を対象に、本システムのサビ検出性能を調べた。1曲すべてを入力し終わった時点で、サビ区間として検出されたものを対象に評価する。この正誤を判定するた

めには、基準となる正解のサビ区間を人間が手作業で指定する必要がある。そこで、楽曲を分割して各部にサビ、Aメロ、Bメロ、間奏等をラベリングできる、楽曲構造ラベリング用エディタを開発した。ラベリングでは、相対的な調の移動幅（曲の先頭の調に対して半音何個分上か）も正解に付与する。

【0076】

こうして作成した正解に基づき、各曲に対する出力結果の区間と正解のサビ区間がどれくらい重なっているかを、再現率（recall rate）、適合率（precision rate）、および両者を統合したF値（F-measure）〔非特許文献11〕の観点から評価した。以下に定義を示す。

【0077】

再現率（R）＝正しく検出したサビ区間の長さの合計／正解のサビ区間の長さの合計

適合率（P）＝正しく検出したサビ区間の長さの合計／検出した区間の長さの合計

$$F\text{値} = (\beta^2 + 1) PR / \beta^2 P + R \quad (\beta = 1 \text{ を使用})$$

ただし、転調を伴う場合には、相対的な調の移動幅が正解と一致したときだけ、正しく検出したと判断した。そして、F値が0.75以上のとき、その曲のサビ区間を正しく得られた（正答した）と判定した。

【0078】

評価結果として、100曲中の正答曲数を表1に示す。

【0079】

【表1】

| | 条件（使用：○，未使用×） | | | |
|---------------------|---------------|--------|--------|--------|
| 転調区間の検出 仮定②，③の使用 | ○ ○ | × ○ | ○ × | × × |
| 正答曲数 | 80曲 | 74曲 | 72曲 | 68曲 |

【0080】

通常のRefrainDの性能は一番左の80曲（80曲の平均F値は0.938）である。誤検出は、サビの繰り返しが他の箇所での繰り返しより多くなかった

り、曲中ほとんどが類似伴奏の繰り返しだったりしたのが主な原因だった。100曲中には、サビに転調のある曲が10曲含まれているが、そのうち9曲は検出できていた。前述の転調を伴う繰り返しの検出をやめた場合、左から二番目のように性能が落ちた。一方、仮定②、③に基づく信頼度の増加をやめた場合は、右二つのように更に性能が落ちた。サビの繰り返しで伴奏やメロディーに大幅な変化を伴う曲は22曲あったが、そのうち21曲は検出できており、その中で変化を伴うサビ自体は16曲で検出できていた。

【0081】

上記したように、本発明では、楽曲の音響信号中のサビ区間を検出する方法 *Refrain* について述べた。本発明は、基本的に楽曲中で最も多く繰り返される区間をサビとして検出する。その際、様々な区間の繰り返しを楽曲全体の情報を統合しながら調べることで、従来実現されていなかった、すべてのサビ区間の開始点・終了点の一覧を得ることを可能にした。また、転調後も繰り返しと判断できるような、クロマベクトル間の類似度を導入したことで、サビの転調も検出できるようになった。RWC研究用音楽データベース (RWC-MDB-P-2001) 100曲を用いて評価した結果、80曲正答でき、実世界の音響信号中のサビ区間が検出できることが確認された。

【0082】

なお、本発明は音楽要約〔非特許文献12〕とも関連しており、*Refrain* Dを、楽曲の要約結果としてサビ区間を提示する音楽要約方法と捉えることもできる。さらに、サビよりも長い区間の要約が必要となきには、中間結果として得られた繰り返し構造を用いることで、楽曲全体の冗長性を減らした要約の提示も可能となる。例えば、中間結果として (Aメロ→Bメロ→サビ) の繰り返しが見えられているときは、それを提示できる。

【0083】

本発明の実験では、ポピュラー音楽を用いて評価したが、*Refrain* Dは他の音楽ジャンルにも適用できる可能性を持つ。実際に、数曲のクラシック音楽に適用したところ、その楽曲で最も代表的な主題が提示される部分を求めることができた。

【0084】

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。例えば、音響特徴量として、クロマベクトル以外に、周波数スペクトル、MFCC (Mel-Frequency Cepstrum Coefficients) 等を用いてもよい。それらの微分値もさらに音響特徴量として加えることも可能である。また、音響特徴量間の類似度として、以下の三つ等も考えられる。

【0085】

【数7】

$$r(t, l) = 1 - \frac{\left| \frac{\tilde{v}(t)}{\sum_c v_c(t)} - \frac{\tilde{v}(t-l)}{\sum_c v_c(t-l)} \right|}{\sqrt{2}} \quad \dots (16)$$

【0086】

【数8】

$$r(t, l) = 1 - \frac{\left| \frac{\tilde{v}(t)}{|\tilde{v}(t)|} - \frac{\tilde{v}(t-l)}{|\tilde{v}(t-l)|} \right|}{\sqrt{2}} \quad \dots (17)$$

【0087】

【数9】

$$r(t, l) = \frac{\tilde{v}(t) \cdot \tilde{v}(t-l)}{|\tilde{v}(t)| |\tilde{v}(t-l)|} \quad \dots (18)$$

【0088】

さらに、本発明は入力を音響信号でなくMIDI信号とする場合にも適用でき、その場合には、音響特徴量の代わりにMIDI信号もしくはMIDI信号特徴量を用い、類似度としてはそれらのMIDI信号もしくはMIDI信号特徴量間の距離に基づく類似度を用いればよい。

【0089】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明によれば、音楽CD (compact

disc) 等による実世界の複雑な混合音からサビ区間を検出し、各サビの区間の開始点と終了点の一覧を求めることができるだけでなく、転調を伴うサビを検出することも可能である。その際、楽曲全体の中での様々な断片の繰り返し構造に基づいてサビを検出する。さらに、楽曲全体の中での様々な断片の繰り返し構造に基づいてサビを検出するため、その中間結果として、繰り返し構造の一覧も同時に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明のサビ区間検出方法 (RefrainD) の処理フローチャートである。

【図2】

本発明にかかるある楽曲に対する類似線分、類似度 $r(t, 1)$ 、パラメータ空間 $R_{all}(t, 1)$ の概念図である。

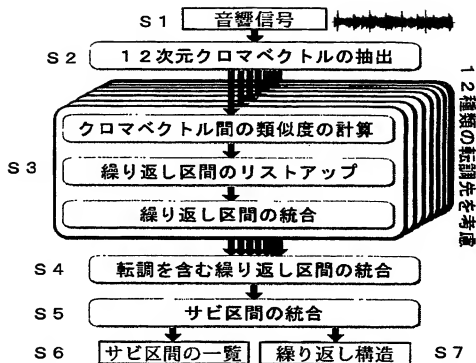
【図3】

RWC-MDB-P-2001, No. 18の楽曲終了時点での正しいサビ検出結果を示す図である。

【書類名】

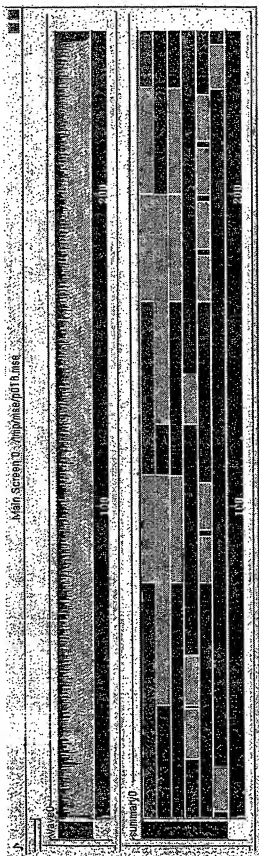
図面

【図1】





【図 3】



【書類名】

要約書

【要約】

【課題】 楽曲中に出現するすべてのサビの区間を網羅的に検出することができる音楽音響信号中のサビ区間検出方法を提供する。

【解決手段】 音響信号を入力し、音響特徴量の抽出を行い、前記音響特徴量間の類似度の計算を行い、繰り返し区間のリストアップを行い、前記繰り返し区間の統合を行い、転調を伴う繰り返し区間の検出を行って、それらの転調を伴う繰り返し区間と前記繰り返し区間との統合を行い、統合した前記繰り返し区間の中から、サビ区間として適切なものを選択する。

このようにして、様々な繰り返し区間の相互関係を調べることで、楽曲中で繰り返されるすべてのサビ区間を網羅的に検出し、それらの開始点と終了点を推定できる。また、転調後でも繰り返しと判断できる類似度を導入することで、転調を伴うサビも検出できる。

【選択図】 図 1

特願2002-309519

出願人履歴情報

識別番号

[301021533]

1. 変更年月日

2001年 4月 2日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関1-3-1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所

特願2002-309519

出願人履歴情報

識別番号

[396020800]

1. 変更年月日
[変更理由]

1998年 2月24日

名称変更

住 所
氏 名

埼玉県川口市本町4丁目1番8号
科学技術振興事業団

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.